

© Е. В. Даев

Санкт-Петербургский
государственный университет,
Санкт-Петербург

✿ Рассматривается структура и содержание лекционного курса «Генетика высших форм межорганизменных взаимоотношений», целью которого является демонстрация генетических механизмов, участвующих в становлении синэкологических связей. После изложения основной концепции о генетических различиях, которые могут реализоваться (или не реализоваться) в конкретных средовых условиях, прослеживается их влияние на специфику как меж-, так и внутривидовых взаимоотношений. Рассматриваются и анализируются примеры участия генов в формировании сложных форм взаимодействий живых организмов друг с другом, включая самые сложные поведенческие особенности людей по отношению друг к другу.

✿ **Ключевые слова:** экология, взаимодействия между организмами, генетические механизмы, среда, гены, высшие формы взаимодействий между людьми

ГЕНЕТИКА ВЫСШИХ ФОРМ МЕЖОРГАНИЗМЕННЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ

РАЗВЕРНУТАЯ АННОТАЦИЯ КУРСА

Задачей курса лекций «Генетика высших форм межорганизменных взаимоотношений» (10 семестр, 12 час.) является демонстрация генетических механизмов, участвующих в становлении синэкологических связей. Для лучшего понимания излагаемого материала, помимо базовых курсов, учащимся рекомендуется прослушать лекции по смежным предметам таким, как «Экологические механизмы адаптации и эволюции» и «Генетические механизмы адаптаций».

Предлагаемый курс — проблемный, так как в рамках экологического образования не уделяется должного внимания оценке вклада конкретных генетических механизмов в регуляцию межорганизменных взаимодействий. Между тем, рассмотрение разнообразных экологических вопросов с использованием генетических методов анализа помогает глубже понять изучаемые проблемы, находить более эффективные пути их решения и точнее прогнозировать возможные изменения в развитии (разрушении) экосистем [4].

Концептуально, курс построен на представлении о том, что особенности **любых** (как меж-, так и внутривидовых взаимоотношений) базируются на специфических генотипических различиях (и/или сходстве) взаимодействующих друг с другом особей. И уже на это накладывается специфическое влияние среды, которая, взаимодействуя с конкретными генотипами, модифицирует как фенотипы, так и поведение организмов по отношению друг к другу. Даже самые сложные формы поведения высших животных и человека могут зависеть от аллельного состава в генотипе конкретной особи. И генетически детерминированные нарушения «нормальных» взаимоотношений между организмами, могут рано или поздно отразиться на состоянии целых экосистем. Поэтому, анализ **любых**, а не только симбиотических, взаимоотношений необходимо начинать с изучения генетических механизмов, лежащих в основе их (взаимоотношений) формирования. Однако в экологии подобные вопросы практически не рассматриваются. Целью предлагаемого курса является рассмотрение и анализ подобных механизмов, которые лежат в основе формирования сложных форм межорганизменных взаимодействий у животных и человека. Для этого проводится разбор конкретных примеров внутри- и межвидовых взаимодействий с точки зрения их генетической детерминации.

В начале изложения материала предлагается ввести рабочее определение **жизни** — как причинно-следственной цепи взаимодействий генома клетки (сначала зиготы, а затем клеток зародыша и всего формирующегося многоклеточного организма) с окружающей средой, в результате которого реализуется (или не реализуется) специфическая генетическая информация.

При изложении материала используется эволюционный подход, который позволяет проследить, как по мере усложнения организации живого организма и изменений в окружающей среде, трансформируются механизмы его взаимодействий с окружающей биосферой. Являясь ее неотъемлемым компонентом, любой многоклеточный организм есть продукт естественного отбора на «сосуществование» с другими представителями своего и других видов микроорганизмов, растений и животных. То есть, в процессе эволюции идет непрерывное совершенствование генетических механизмов, обеспечивающих адаптивно-значимые син- и аутэкологические взаимодействия. Анализ именно генетического звена подобных взаимодействий позволит не

только познакомиться с появившимися в последнее время новыми данными, но и поможет правильному формированию естественно научного мировоззрения.

Так, нет сомнения, что форма цветка клевера, как и хоботка шмеля, являются генетически детерминированными и, в то же время, коэволюционирующими признаками. Именно коэволюция определяет эффективность взаимодействия данных представителей растительного и животного царства. Однако конкретные генетические механизмы до сих пор остаются неисследованными. Удобным для понимания механизмов коэволюционных процессов является рассмотрение данных, накопленных Новосибирской школой академика Д. К. Беляева по доместикиции животных человеком [1, 8]. Важно рассмотреть генетические механизмы стресс-реактивности животных и роль стресса в «микро-,коэволюционных» преобразованиях [5, 7].

Примером, могущим характеризовать связь аллельных вариантов генов с межорганизменными отношениями, является связь социальной структуры колоний рыжих муравьев *Solenopsis invicta* с генотипами маток и рабочих муравьев. Показано, что разные аллели локуса *Pgm-3* и сцепленного с ним *Gp-9* связаны с принципиальными различиями в социальной структуре колоний [13, 16].

Хорошо известен пример генетического контроля «гигиенического» поведения медоносной пчелы по отношению к собственным личинкам, зараженным *Bacillus larvae*. Новые исследования на пчелах показывают, что поведение отдельной особи может быть предсказано по индивидуальной картине экспрессии иРНК в ее мозгу [17]. Между мышами с «нокаутированным» геном *disheveled-1* нарушены иерархические взаимодействия. Животные с выключенным геном избегают друг друга, не могут вычлнять главный сигнал при наличии «шума». У них также нарушена способность строить гнездо. Установлено, что ген *disheveled-1* включается у мышей ещё в эмбриогенезе и у взрослых особей работает в мозжечке и гиппокампе [12, 15]. У дрозофилы гомологичный (ортологичный) ген контролирует межклеточные связи в эмбриогенезе, определяет правильную полярность клеток и сегментов тела. Остается неисследованным вопрос о том, играет ли этот ген какую-либо роль в поведении мух.

Показано, что гены *Gus* и *Mup* у домового мыши контролируют эффективность действия феромонов, которыми в свою очередь регулируются иерархические отношения, территориальное и половое поведение, тревожность, агрессия, социальные контакты [6]. Все это предопределяет как приспособленность отдельной особи, так и устойчивость существования всего дема, его возрастную и генетическую структуру.

Одним из важных акцентов курса является рассмотрение вклада генетической компоненты в регуляцию взаимоотношений между людьми. Например, взаимоот-

ношения между полами у человека зависят от аллельных вариантов тысяч разных генов. Различия по генам, контролирующим пол человека, предопределяют разницу в последующем воспитании и, соответственно, гендерные различия в поведении. Наглядным является разбор влияния генетических нарушений, приводящих, например, к синдрому тестикулярной феминизации, томбойизму и врожденной гиперплазии надпочечников, на межличностные отношения [9]. Гены, нарушающие процесс взаимодействия с себе подобными и с окружающим миром, разбросаны по всему геному (например, гены предрасположенности к аутизму, шизофрении и т.д.) человека.

При изложении материала делается акцент на взаимодействие генетических и средовых факторов. В качестве примера можно рассматривать ген моноаминоксидазы А человека. Так, обсуждается наличие связи между отдельными аллелями этого гена и асоциальными формами поведения, причем только в определенных условиях воспитания [11, 14].

Накапливаются данные о роли аллельных различий по генам гистосовместимости в ассортативности формирования браков у животных и человека. Привлекательность человеческого лица, играющая немалую роль в формировании взаимоотношений между людьми, определяется сбалансированной работой сотен генов (окраски глаз, пигментации кожи, цвета волос, гендерных особенностей, симметрии и т.д.).

Переходя с индивидуальных различий на популяционный уровень и выше, можно рассматривать генетические различия как базис для очень сложных по структуре специфических синэкологических взаимоотношений между организмами [2, 3, 10], которые (при соответствующих условиях среды) могут приводить к последствиям значительного масштаба (у человека, например, половая и расовая дискриминация).

Таким образом, именно генетические различия во взаимодействии с меняющимися условиями окружающей среды лежат в основе трансформаций биоразнообразия, что может являться причиной экологических проблем.

ПРОГРАММА КУРСА

Введение (2 час.).

Определение предмета, целей и задач курса в рамках программы «Экологическая генетика». Межорганизменные взаимоотношения и их эволюция. *Высшие формы* взаимоотношений с точки зрения степени «притирки» геномов друг к другу. Митохондрии как возможный пример перехода от паразитизму к симбиозу. Вирусы и бактерии. Лишайники. От одноклеточности к многоклеточности. *Внутриорганизменные взаимоотношения*. Многоклеточность и клеточная дифференцировка как результат взаимодействия клеток между собой. Формы меж- и внутривидовых взаимоотношений (симбиоз,

паразитизм, комменсализм, иерархия и т. д.). Взаимодействие многоклеточных организмов между собой как адаптивно значимый признак. *Высшие формы взаимоотношений* с точки зрения их сложности, а также в зависимости от расположения видов-участников на эволюционной лестнице.

Базовая часть.

1. Участие генов в формировании межвидовых взаимоотношений (4 час.).

Паразитизм. Паразитические черви и ослабленная иммунгенность их поверхности. Взаимодействие видов. Комменсализм как пример естественного отбора на совместимость с человеком (или другим животным). Роль нейроэндокриноиммунной системы. Естественный отбор и коадаптация. Доместикация как пример искусственной подгонки генотипа животного к требованиям человека (поведение черно-бурых лисиц, Д. К. Беляев и его школа). Человек — кошка (русская голубая), человек — собака. Крупный рогатый скот. Стресс-реакция фактор формирования и как результат межорганизменных отношений: генетические механизмы.

2. Гены и внутривидовые взаимоотношения (4 час.).

Половое размножение как пример внутривидовых межорганизменных взаимоотношений: роль специфических форм поведения. Коэволюция генов, контролирующего поведение, биохимию, морфологию. Т-аллели у мышей как пример иммунологического «соответствия» спермиев генотипу самок. Гомосексуализм у мух и выбор полового партнера у мышей. Взаимовлияние самцов и самок друг на друга (зрительные, звуковые, вкусовые, феромональные и др. сигналы, их влияние на поведение, гормональный статус, физиологию организма). Генетический контроль полового диморфизма: гены «песни», формы и окраски гребня и хвоста у птиц. Контроль иерархических взаимоотношений. Хемосенсорные механизмы взаимоотношений. Генетически обусловленные связи между рецепторами и нейрогормональным механизмом регуляции взаимоотношений между животными. Химеры и фримартины как пример межорганизменных взаимодействий.

Заключение.

Гены и высшие формы взаимоотношений у человека (2 час.).

Оценка генотипа по фенотипу — основа взаимоотношений. Взгляд на социальную структуру общества с позиций концепции «эгоистического гена». Возникновение этических и эстетических норм как результат взаимодействия организмов внутри вида на генетическом уровне. Запрет на близкородственные браки. «Не убий!», «Не укради!». Взаимоотношения «мать — плод» и «мать — ребенок». Ассортативность заключения браков и формирования ближайшего окружения. Консерватизм генетических механизмов регуляции взаимоотношений. Возможные механизмы взаимодействий с точки зрения физиологической генетики.

Недостаток специфичности механизмов межорганизменных взаимоотношений как источник син- и аутэкологических нарушений.

КОММЕНТАРИИ К СОДЕРЖАНИЮ КУРСА

Для более глубокого понимания генетических основ межорганизменных взаимоотношений у человека помимо лекций можно рекомендовать проведение дополнительных семинарских занятий и написание реферативных работ. Примерами тем для самостоятельной подготовки могут быть:

1. Генетические различия как регулятор межорганизменных взаимодействий у животных и человека.
2. Связь эстетических представлений человека с общеприродными и генетическими закономерностями.
3. Генетические механизмы, лежащие в основе восприятия человеком себе подобных. «По фенотипу встречаются, по генотипу провожают».
4. Генетика пола и гендерные взаимоотношения.
5. Соответствие этических норм человека общеприродным и генетическим закономерностям.

Работа поддержана грантом «Ведущие научные школы» НШ-7623.2006.4

Литература

1. Беляев Д. К. Дестабилизирующий отбор как фактор изменчивости при доместикации животных / Беляев Д. К. // Природа — 1979. — № 2. — С. 36–45.
2. Беляев Д. К. Влияние стресса на наследственную изменчивость и его роль в эволюции / Беляев Д. К., Бородин П. М. // В сб.: Эволюционная генетика. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. — С. 35–59.
3. Докинз Р. Эгоистичный ген / Докинз Р. — М.: Мир, 1993.
4. Инге-Вечтомов С. Г. Влияние экологических отношений на генетические процессы / Инге-Вечтомов С. Г., Барабанова Л. В., Даев Е. В., Лучникова Е. М. // Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. Биология. — 1999. — Сер. 3. Вып. 4. — С. 14–32.
5. Маркель А. Л. Стресс и эволюция: концепция Д. К. Беляева и ее развитие / Маркель А. Л. // В сб.: Современные концепции эволюционной генетики. — Новосибирск: ИЦиГ СО РАН, 2000. — С. 103–114.
6. Новиков С. Н. Координированная экспрессия генов *Gus* и *Mur* как потенциальная основа функциональной активности андрогензависимых феромонов домашней мыши *Mus musculus L* / Новиков С. Н. // Докл. Акад. наук. — 2003. — Т. 391, № 5. — С. 707–711.
7. Современные концепции эволюционной генетики / под ред. В. К. Шумного, А. Л. Маркель. — Новосибирск: ИЦиГ СО РАН, 2000. — 360 с.

8. Трут Л. Н. Проблема дестабилизирующего отбора в развитии / Трут Л. Н. // В сб.: Современные концепции эволюционной генетики. — Новосибирск: ИЦиГ СО РАН, 2000. — С. 7–21.
9. Фогель Ф. Генетика человека (в 3-х томах) / Фогель Ф., Мотульский А. — М.: Мир, 1990.
10. Эфроимсон В. П. Генетика этики и эстетики / Эфроимсон В. П. — СПб.: Талисман, 1995. — 288 с.
11. Childhood adversity, monoamine oxidase A genotype, and risk for conduct disorder / Foley D. L., Eaves L. J., Wormley B. [et al.] // Arch Gen Psychiatry, 2004. — Vol. 61. — P. 738–744.
12. Conservation of dishevelled structure and function between flies and mice: isolation and characterization of Dvl-2 / Klingensmith J., Yang Y., Axelrod J. D. [et al.] // Mech. Devel. — 1996. — Vol. 58. — P. 15–26.
13. Distribution of the Two Social Forms of the Fire Ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) in the Native South American Range / Mescher M. C., Ross K. G., Shoemaker D. D. [et al.] // Ann. Entomol. Soc. Am. — 2003. — Vol. 96(6). — P. 810–817.
14. Monoamine oxidase A (MAOA) and antisocial behaviors in the presence of childhood and adolescent maltreatment / Haberstick B. C., Lessem J. M., Hopfer C. J. [et al.] // Am. J. of Med. Genet. Part B: Neuropsychiatric Genetics. — 2005. — Vol. 135B, N 1. — P. 59–64.
15. Social interaction and sensorimotor gating abnormalities in mice lacking Dvl-1 / Lijam N., Paylor R., McDonald M. P. [et al.] // Cell. — 1997. — Vol. 90. — P. 895–905.
16. Valles S. M. Identification of polygyne and monogyne fire ant colonies (*Solenopsis invicta*) by multiplex PCR of Gp-9 alleles / Valles S. M., Porter S. D. // Insectes sociaux B (Insectes soc.). — 2003. — Vol. 50, N 2. — P. 199–200.
17. Whitefield C. W. Gene Expression Profiles in the Brain Predict Behavior in Individual Honey Bees / Whitefield C. W., Cziko A.-M., Robinson G. E. // Science. — 2003. — Vol. 302. — P. 296–299. (Klingensmith et al., 1996; Lijam et al., 1997).

**Genetics of highest types
of interactions between organisms**

E. V. Daev

✿ **SUMMARY:** The structure and content of the lecture course “Genetics of highest types of interactions between organisms” is briefly reviewed. The main goal of the course is to demonstrate genetic mechanisms participating in the formation of synecological interactions. The basic concept of the lectures is to show how inter- and intraspecific activity is determined by genetic differences in certain environmental conditions. Examples of genes involvement into complex interactions (including highest forms of behavior between humans) are analyzed.

✿ **KEY WORDS:** ecology, interactions between organisms, genetic mechanisms, environment, genes, highest forms of interactions among human beings